

應用 UHF 技術檢測高壓設備局部放電 PD Measurement On High Voltage Equipment by using the UHF Technology

邱敏彥 李長興 黃智賢 吳明學 曾威能
Min-Yen Chiu, Chang-Hsing Lee, Chih-Hsien Huang Ming-Xuei Wu Wei-Neng Tseng

震江機電技術顧問股份有限公司
Chan.ching@msa.hinet.net

台灣電力公司綜合研究所電力課 茂德科技股份有限公司
wumx200e@yahoo.com.tw

摘要

隨著科技進步，局部放電之線上量測遂為可行。然而，目前應用於線上局部放電量測之感測器多為接觸式，如高頻比流器，皆需要打開箱體或靠近高壓端方能量測。此類感測器在實際應用上往往造成操作人員極大壓力，本文應用電磁波感測方法，利用 UHF 感測器不需靠近設備高壓端即可進行量測。

使用電磁波作感測手法的最大困難在於頻帶選用，及缺陷辨識。本文利用與不同局部放電檢測手法進行比較，建立圖譜辨識能力。本文最後於現場進行量測，記錄現場之雜訊頻帶，並與其它方法進行比較。

關鍵詞：局部放電、電磁波、電暈

Abstract

Complying with the technology progressing, on-line partial discharge measurement becomes workable. Up to now, the sensor used in partial discharge measurement needs to be drawn near the high voltage terminal. This paper utilizes electromagnetic coupling to measure partial discharge signal without closing to high voltage terminal.

The difficulty of measurement with electromagnetic coupling is the selection of bandwidth and the identification of defects. This paper proposes the comparison between UHF and other sensor to setup the ability of partial discharge measurement with electromagnetic coupling. In the end of this paper, the field test is also made to confirm.

Keywords: Partial Discharge, Electromagnetic Wave, Corona,

I. 前言

高壓絕緣設備發生短路事故時，大部分的原因都是因絕緣材料的絕緣劣化所致，而造成高壓設備絕緣劣化不外乎是因設備的老化所致，其老化的過程經由電應力、熱應力或機械應力等造成，但老化過程又往往因局部放電而加速其絕緣劣化，導致高壓絕緣設備的壽命減短，除了老化會造成局部放電外，當高壓絕緣設備在製造過程中往往可能會參雜一些異物雜質，而這些雜質最常見的就是氣泡，或者在搬運過程中因撞及而產生裂縫，這些都是造成絕緣材料發生局部放電的一些主因。

因高壓設備的局部放電是加速絕緣劣化的主要原因，所以從很久以來局部放電(PD)的測量一直都是高壓設備品質檢驗必要的一部分，根據 IEC 對各種的高壓設備的測試標準中(Routine Test)，唯獨對局部放電的測試有訂定一定的出廠標準值，可見局部放電測試對製造商

而言，是一個品質認定最重要的工具之一，但是近年來對局部放電的普遍認知，局部放電的檢測已經不僅是製造商重要的工具，對用戶而言在設備運轉及維護中，都可以利用局部放電檢測來確認高壓設備是否有異常的局部放電存在的危險性。

目前依賴的直流耐壓或電力因數測試高壓設備的絕緣，只能診斷高壓設備整體絕緣的劣化情形，無法診斷出高壓設備的瑕疵放電，但局部放電檢測雖然不能診斷高壓設備的絕緣能力，但可以診斷出高壓設備內的瑕疵放電[1]，不過依據現行國際規定測試法於現場測量局部放電時[2]，必須中斷電源並連接耦合電容至高壓設備端，然後透過測量阻抗來耦合局部放電的訊號，但是對用戶而言要利用標準測試法來檢測高壓設備時，則會加長停電的時間，可能會造成相當大的經濟損失，因此目前就發展出非傳統的電場及磁場的耦合模式，並應用在不停電的狀況下測試高壓設備的局部放電。

高壓設備除了一般電壓電流訊號之外，當高壓設備發生局部放電時，會造成電壓及電流的暫態變化，暫態電壓的變化可利用電容式感測器來耦合放電訊號，暫態電流則可利用電感式感測器來耦合，但電場與磁場的交互作用的波動稱為電磁波(Electromagnetic Wave)，此電磁波會從放電的位置以向外輻射或利用導導體等兩種方式傳送[3]，此電磁波的頻率從數百 kHz 一直到數百 MHz 左右不等，因此只要選擇適當的電磁波感測器，且不需靠近高壓設備，就可以耦合到局部放電的電磁波訊號。

本文探討利用試片模擬幾種放電形態特徵，觀察局部放電產生電磁波的頻率特性，並應用超高頻(UHF)的頻帶來測量局部放電，以及在現場實際測量的應用，並與其他的測試法做比較。

II. 頻帶選用

本文主要利用電磁波的原理來測量局部放電訊號，但環境充斥著各種不同的電磁波成了主要的干擾雜訊來源，因此選擇適當的頻帶則顯得非常重要，而所要測試的高壓設備如比壓器、斷路器及模鑄式變壓器等，這些高壓設備都安裝在金屬開關盤裡，雖然金屬開關盤本身雖可阻隔大部分外在的干擾雜訊，但電力設備如整流器等所產生的干擾雜訊或其他外在的雜訊，仍會經由電力線進入高壓盤內，圖 1 就是於不同的變電站的高壓盤內所收集到的環境背景雜訊頻譜統計，可以看出其主要雜訊都落在 300MHz 以下，且在多次於現場所收集的資料顯示，於 300MHz~3GHz 的 UHF 頻帶雜訊最少，所以最後頻帶選用起始頻率為 300MHz，截止頻率為 800MHz。

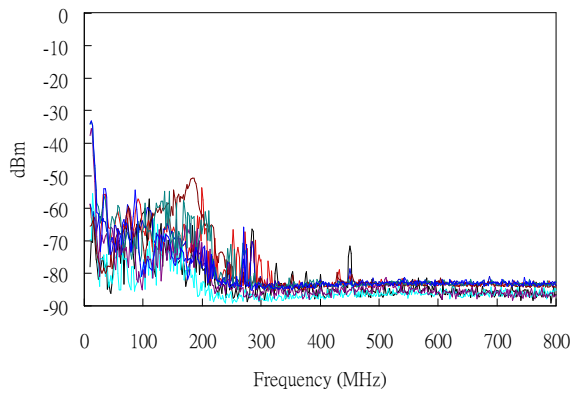
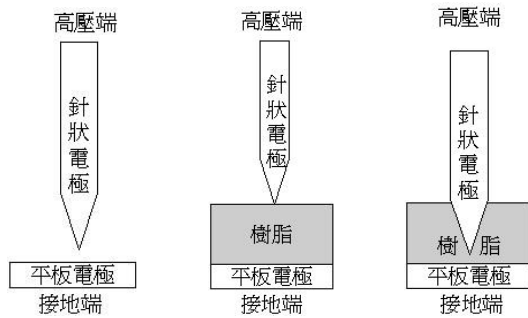


圖 1：環境背景雜訊頻譜統計

III. 模擬放電測試

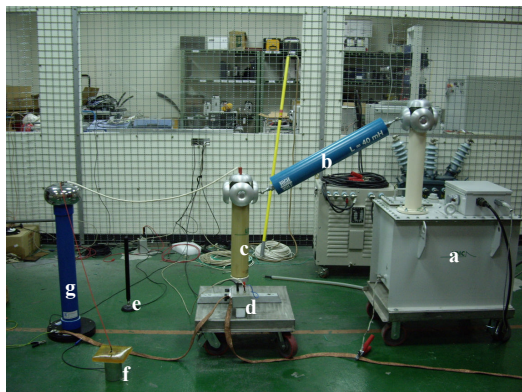
不同的放電形態會有不同的放電特性，為了觀察不同的放電形態特徵，所以利用如圖 2 所示的試片來模擬幾種放電，其中模擬電暈及外部放電是在空氣中進行，但模擬內部放電時則把試片放入絕緣油中，主要是防止電極跟樹脂間的外部放電的產生，而影響到實際要觀察的內部放電特性。



a. 電暈放電 b. 外部放電 c. 內部放電

圖 2：模擬幾種放電用試片

模擬測試依 IEC60270 將待測試片與耦合電容並聯(圖 3)，然後連接至局部放電測試儀器 LDS-6，UHF 感測器則連接至頻譜分析儀，觀察放電特性及頻譜後，再將全部測試線連接至示波器比對標準測試法及 UHF 感測器的差異性。



a. 加壓設備 b. 濾波器 c. 耦合電容 d. 測量阻抗
e. UHF 感測器 f. 試片 g. 分壓器

圖 3：模擬試片測試架構

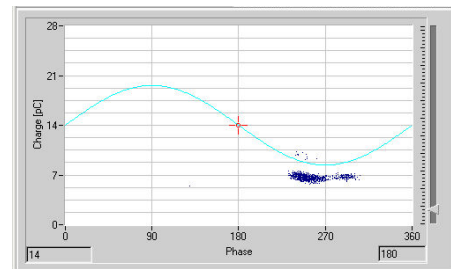
IV. 放電形態特徵與頻譜

主要觀察的放電型態特徵有放電量與放電角度的關係，以及放電重複率等，而局部放電的電氣特性頻譜則使用電磁波耦合的方式，來觀察局部放電的放電頻率分佈。

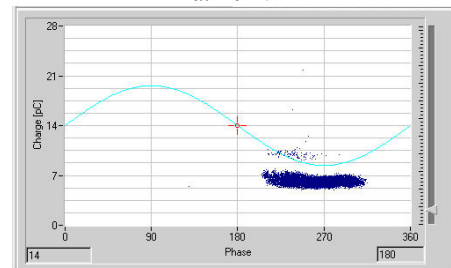
1. 電暈放電(Corona Discharge)

電暈放電是指電極對空氣的放電，通常都發生在低曲率半徑的電極，也就是所謂的尖端放電，放電位置不只在高壓電極，也會出現在接地的電極上。

- 放電訊號首先出現於負半週，放電角度約在 270° ，也就是在峰值區域放電(圖 4.a)。
- 當電壓從 10kV 升高至 15kV 時，其放電量不變，但放電重複頻率(Repetition rate)也升高，放電角度從 10kV 的 $230^\circ\sim 300^\circ$ ，改變到 15kV 的 $200^\circ\sim 320^\circ$ (圖 4)。
- 電壓如果持續往上加壓時，於正半週的峰值同樣會有放電訊號。
- 高頻的放電頻率約在 160MHz~240MHz 介於 VHF 頻帶之間(圖 5)。
- 圖 6 是把電極改至接地端時，放電角度則改變為正半週的 90° 左右開始放電，並比對標準測試法與 UHF 感測器的一致性，雖然兩者耦合的方式及測試頻率的不同，但測試結果是相同的。
- 電極靠近接地端時放電量變大，反之減少。



a. 10kV



b. 15kV

圖 4：電暈放電圖譜

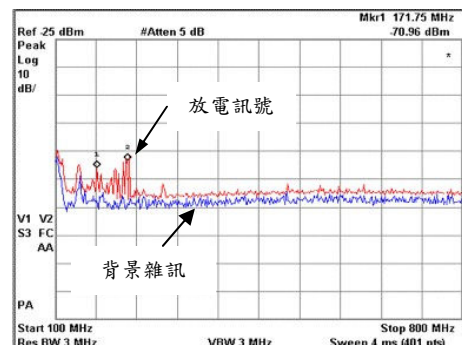


圖 5：電暈放電頻譜

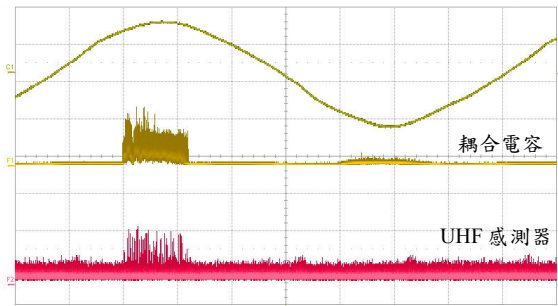


圖 6：標準測試法與 UHF 感測器的比對

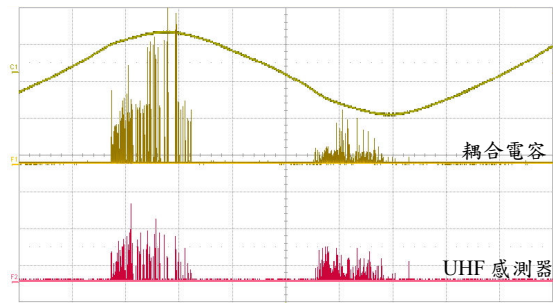
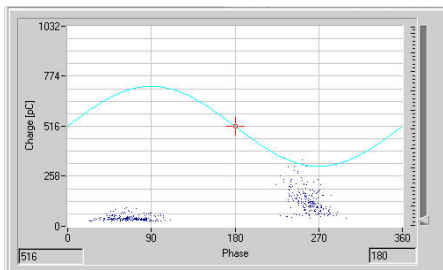


圖 9：標準測試法與 UHF 感測器的比對

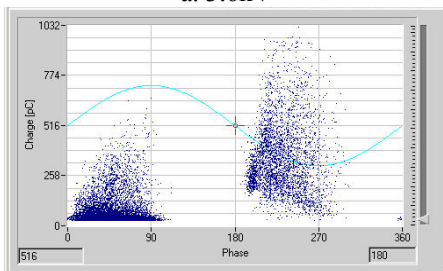
2. 外部放電(External Discharge)

外部放電是發生在絕緣材料的表面,大都是因環境及安全間距的不足造成電力梯度分佈不平均的放電,也稱為沿面放電(Surface Discharge),通常外部放電危險性較低。

- 放電訊號同時在正負半週出現,且介於零點與峰值之間,峰值過後放電訊號隨即消失。
- 電壓持續上升,放電量會持續變大,如圖 7 從 3.6kV 的 260pC,到 6kV 時上升至 1000pC。
- 經由 UHF 感測器耦合明顯的放電頻率約在 330MHz~480MHz 之間,在更高頻的 640MHz~670MHz 仍有放電訊號(圖 5)。
- 圖 9 是比對標準測試法與 UHF 感測器的一致性。



a. 3.6kV



b. 6kV

圖 7：外部放電圖譜

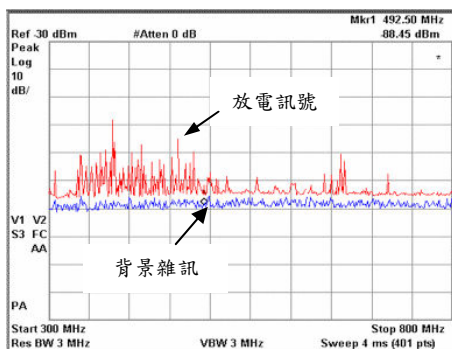
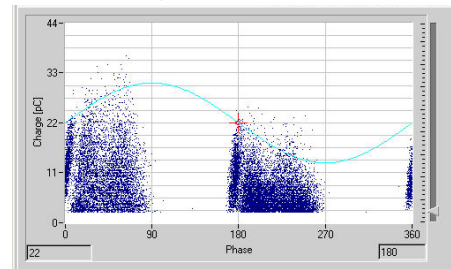


圖 8：外部放電頻譜

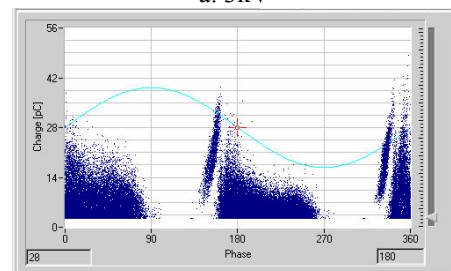
3. 內部放電(Internal Discharge)

內部放電是發生在絕緣材料的內部,發生的原因大都是絕緣材料內部殘留的空氣或尖端所致,其中因內部空氣的放電稱為空洞放電(Void Discharge),此類型的放電危險性最高,尤其是發展到電樹放電(Electrical Tree)是造成絕緣劣化最主要的原因。

- 放電訊號同時在正負半週出現,且介於零點與峰值之間。
- 因受到內部瑕疵位置的物理空間所限制,所以當電壓持續上升時,放電量的變化不大,如圖 10 從 3kV 的 35pC,到 6kV 時只有 38pC,不過放電重複率有變多,放電角度也從 3kV 的 353°~89°及 168°~267°,改變為 6kV 的 322°~95°及 134°~274°。
- 圖 11 是內部放電的頻譜分析,主要放電頻率分佈在 300MHz~600MHz 及 650MHz~750MHz 之間。
- 圖 12 是比對標準測試法與 UHF 感測器的一致性。



a. 3kV



b. 6kV

圖 10：內部放電圖譜

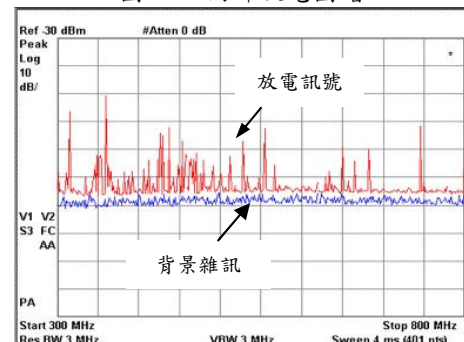


圖 11：內部放電頻譜

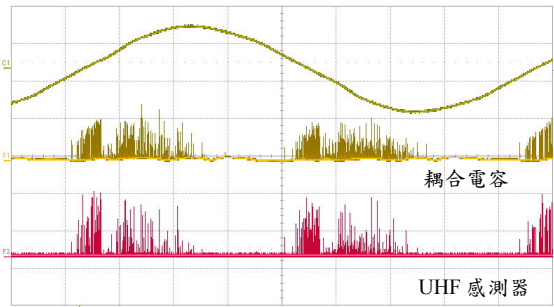


圖 12：標準測試法與 UHF 感測器的比對

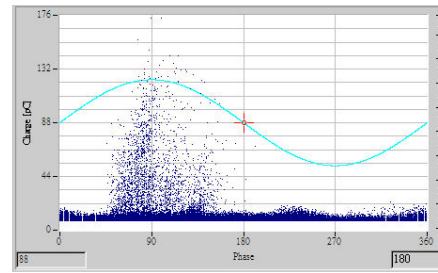


圖 15：電場式感測器量測圖譜

V. 現場實測案例

現場量測與在實驗室裡最大不同的是雜訊干擾，以及待測物的不確定因素，在現場測量大都以插座電源來提供參考電源，所以量測到的訊號會跟實際的放電角度有誤差，所以增加了現場量測診斷放電型態的困難度。

圖 13 是將 UHF 感測器放置於變壓器盤內測量局部放電的情形，感測器不需靠近高壓，只需於盤內安全間距允許的位置皆可放置安裝 UHF 感測器。

於現場實際量測時除了使用 UHF 感測器測量外，同時也使用電場及磁場的感測器來作比對驗證。

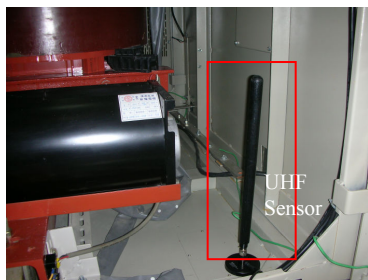


圖 13：UHF 感測器現場實測

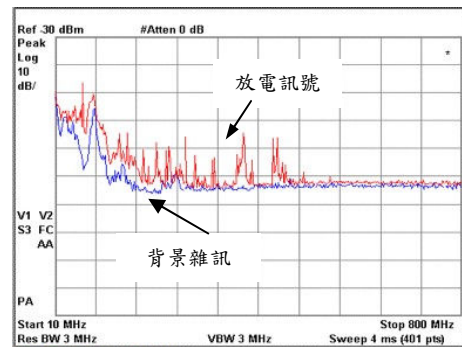


圖 16：案例一放電圖譜



圖 17：案例一變壓器解剖後找到的放電位置

1. 案例一：3000kVA 模鑄式變壓器

此變壓器用 UHF 感測器與電場式感測器作為量測，量測的結果如圖 14 與 15 所示。圖 16 是此變壓器的放電頻譜，可以看出 150MHz 以下的干擾訊號較多，放電頻率約分佈在 200~450MHz 之間，從 UHF 感測器量測的圖譜來看，其量測到的量已超過儀器所能測量的上限，顯示利用 UHF 感測器的感度是高於電場式感測器許多，但無法判斷放電位置及相位，不過電場式感測器就可以應用來定位放電位置。

後來此變壓器更換至原廠測試，再依電場感測器所定位到的位置來解剖變壓器，經解剖後可以明顯看出異常的放電位置(圖 17)。

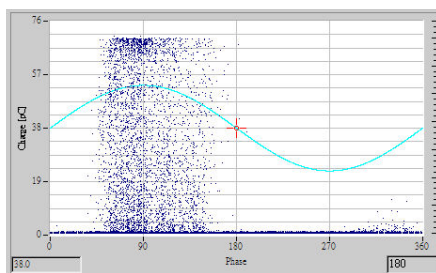


圖 14：案例一 UHF 感測器量測圖譜

2. 案例二：1500kVA 模鑄式變壓器

UHF 感測器的感度同樣是高於電場式感測器許多，且量測的圖譜也比電場式感測器清楚明顯，量測的結果如圖 18 與 19 所示。

雖然 300MHz 以上的頻帶雜訊較少，但此案例的放電頻譜(圖 20)在 350~430MHz 與 660~720MHz 之間，則有明顯干擾雜訊，但這些雜訊並不影響測試結果，仍可分辨出放電訊號與雜訊的差別。

此變壓器的放電角度相當大約有 120°，且放電重複率也偏高，所以建議業主更換此變壓器，經更換至原廠測試，也已經確認此變壓器有局部放電的問題。

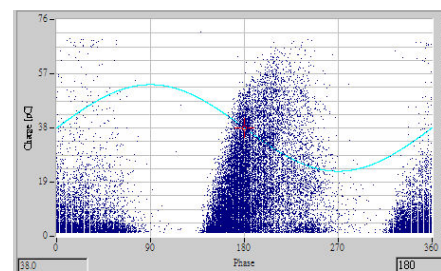


圖 18：案例二 UHF 感測器量測圖譜

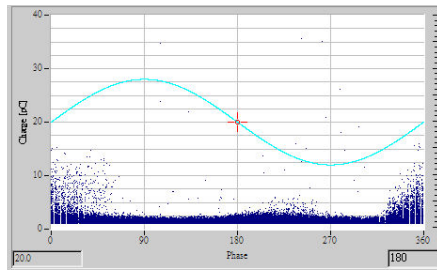


圖 19：案例二電場式感測器量測圖譜

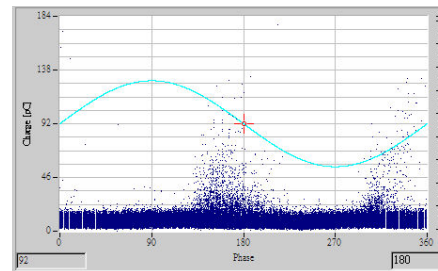


圖 23：案例三電場式感測器於 T 相的量測圖譜

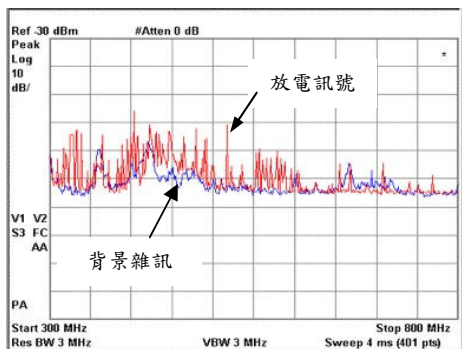


圖 20：案例二放電頻譜

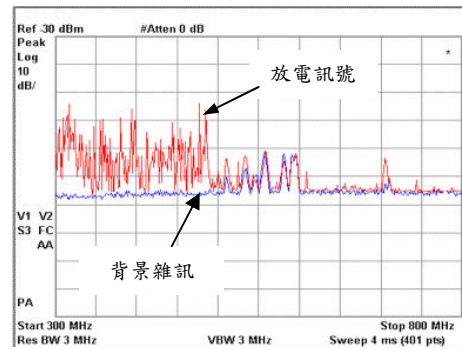


圖 24：案例三放電頻譜

3. 案例三：1500kVA 模鑄式變壓器

此變壓器用 UHF 感測器量測到有兩相的放電訊號(圖 21)，再利用電場式感測器來定位確認放電位置，測量後於變壓器的 R 相及 T 相檢測出有放電的訊號，量測的結果如至圖 21~23 所示。

此案例的放電頻譜在 500~600MHz 之間有明顯的干擾雜訊，但在 300~500MHz 之間的放電訊號更明顯，所以此雜訊也不影響到測試結果。

此變壓器有兩相位在放電，在經由業主更換此變壓器至原廠測試比對，也確認 R、T 兩相有明顯的局部放電的問題。

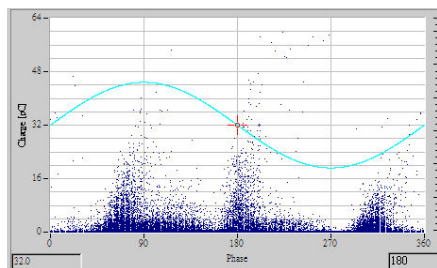


圖 21：案例三 UHF 感測器量測圖譜

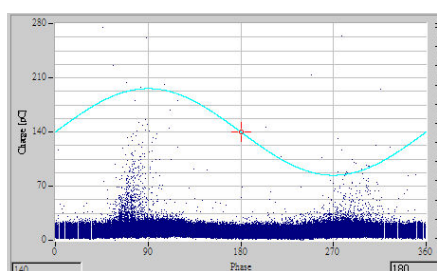


圖 22：案例三電場式感測器於 R 相的量測圖譜

VI. 結論

根據實驗，使用 UHF 量測局部放電時，選用 300 MHz 至 800 MHz 之頻帶可避免掉大部份來自設備之雜訊，且可避免電暈放電等非立即危險之訊號。

經由實驗室之模擬量測驗證，雖然 UHF 與標準測試法的耦合方式及測試頻率不同，但具有相同之量測結果，顯示 UHF 量測局部放電為一可行方案。

現場量測顯示，UHF 在本文架構下可有效濾除雜訊，且有效地將局部放電訊號檢出。

綜前所述，使用 UHF 進行局部放電量測為一有效且可行之方法。使用此法的另一好處為可大幅降低測試人員感電危險，除了利於線上局部放電檢測之推廣，也可應用在局部放電的長期監控，不只安裝方便，且感測器成本較低，是未來應用發展的方向。

參考文獻

- [1] 李長興、邱敏彥、黃智賢、吳明學、顏世雄，” 比壓器絕緣診斷手法之差異研究”，第 26 屆電力工程研討會。
- [2] IEC 60270 High-voltage test techniques – Partial discharge measurements.
- [3] 邱敏彥、李長興、黃智賢、吳明學、顏世雄，” 應用 VHF/UHF 檢測油浸式電力變壓器局部放電的開發”，第 26 屆電力工程研討會。